

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

DESIGNING DUAL NETWORKS OF POWER SUPPLY AND DATA TRANSMISSION BASED ON INTEGRATED QUALITY INDICATORS

Yu. Kryukov

Summary. A new paradigm for the design of dual energy information networks is proposed, which are distinguished by a complex consideration of the quality indicators of an integrated network. It is shown that in spite of the fact that power supply and communication networks exist as two independent complexes that belong to different branches of the national economy, there is a strong interdependence of the quality and reliability indicators of another. The development of design methods based on complex indicators of the energy and information network makes it possible to increase the efficiency and quality of electricity supply and communication services as a whole.

Keywords: system analysis, electric power industry, power quality indicators, power distribution networks, data transmission networks, dual energy information systems, automated monitoring and control systems, reliability and performance indicators in communication networks.

Крюков Юрий Алексеевич

К.т.н., доцент, ГБОУ ВО Московской области «Университет «Дубна» (государственный университет «Дубна») kua@uni-dubna.ru

Аннотация. Предложена новая парадигма проектирования дуальных энергоинформационных сетей, отличающихся комплексным учетом показателей качества интегрированной сети. Показано, что несмотря на то, что сети электроснабжения и связи существуют как два независимых комплекса линий передач, относящиеся к разным отраслям народного хозяйства, прослеживается жесткая взаимозависимость показателей качества и надежности работы одной инфраструктуры от показателей качества и надежности другой. Разработка методов проектирования на основе комплексных показателей энергоинформационной сети позволяет повысить эффективность и качество услуг электроснабжения и связи в целом.

Ключевые слова: системный анализ, электроэнергетика, показатели качества электроэнергии, электrorаспределительные сети, сети передачи данных, дуальные энергоинформационные системы, автоматизированные системы мониторинга и управления, показатели надежности и производительности в сетях связи.

Потенциал развития территориально-распределенных сетей электроснабжения и передачи данных

На современном этапе развития общества трудно себе представить, что еще сравнительно недавно, чуть более ста лет назад, появились первые электrorаспределительные сети, заработали станции телефонной связи. Зародились две новые отрасли экономики, существенно изменившие устоявшийся уклад жизни и создавшие условия для очередной промышленной революции. Повышение скорости обмена информацией, энергооборуженности производств и сегодня являются базой для инновационного развития территорий. Традиционно, несмотря на очевидную взаимозависимость, такие отрасли как электроэнергетика и электросвязь координируются соответствующими министерствами и развиваются по собственным программам. Однако взаимное проникновение технологий демонстрирует настоятельную необходимость комплексного учета параметров качества поставляемых потребителю услуг. Так в последнее десятилетие очевидной потребностью современных электро-

распределительных сетей становится развертывание наложенных сетей диспетчеризации и учета потребления электроэнергии, позволяющих дистанционно снимать текущие показания с приборов учета и контролировать параметры качества электроэнергии на местах. С другой стороны, в локальных информационных сетях широкое использование приобрела технология электроснабжения поверх линии передачи данных (например, Power over Ethernet, PoE), позволяющая обеспечить электропитание удаленного оборудования связи.

Ответом на потребности рынка становятся разработки новых технологий, позволяющих интегрировать в одной кабельной системе сети высокоскоростной передачи данных и электrorаспределения [10]. Формируется новая парадигма дуальных территориально-распределенных кабельных коммуникаций, позволяющая поднять на новый уровень интегрированные показатели надежности и качества предоставляемых услуг. Становится актуальной разработка методов проектирования дуальных энергоинформационных систем, отличающихся комплексным учетом показателей качества интегрированной сети и по-

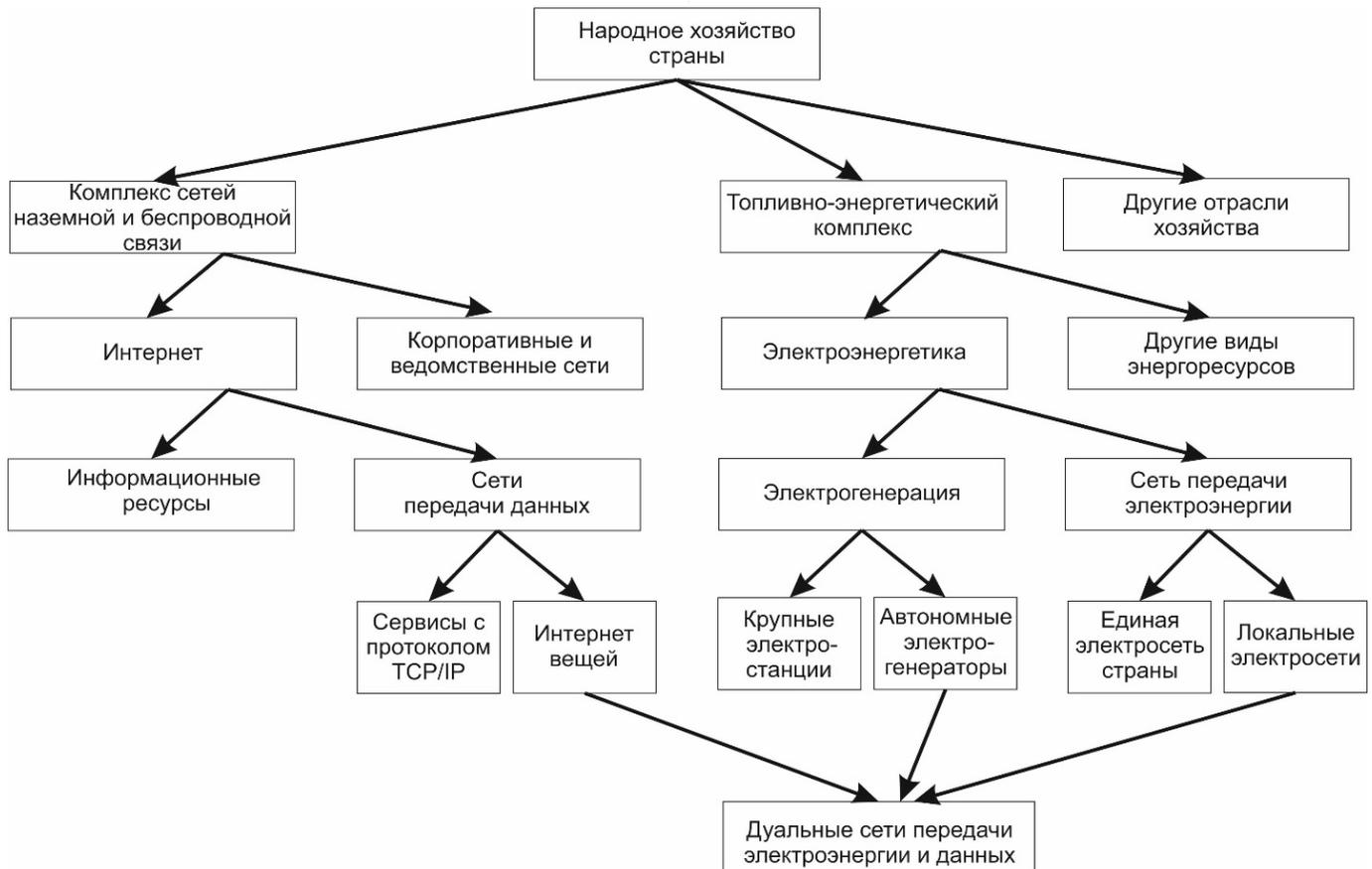


Рис. 1 Дуальные сети электроснабжения и передачи данных в отраслевой структуре

звляющей повысить эффективность и качество услуг электроснабжения и связи в целом (Рис. 1).

Типичный подход, применяемый при прокладке коммуникаций в офисных и жилых помещениях, предполагает установку в одном настенном блоке как розеток электропитания, так и информационных розеток. Однако раздельное проектирование параллельных линий распределительных систем не позволяет реализовать потенциал межсетевое взаимодействие. Рассмотрим признаки интегрированной сети, предполагающий мониторинг и взаимный интеллектуальный учет основных характеристик при поставке услуг пользователю:

- ◆ единый подход к проектированию;
- ◆ взаимоувязанные показатели качества;
- ◆ автоматизация управления текущими показателями качества;
- ◆ интеллектуализация развития сетевой инфраструктуры в соответствии с меняющимися потребностями пользователей;
- ◆ интеграция множества потребителей и источников ресурсов;
- ◆ оптимизация сетевых издержек и стоимости базовых услуг.

С целью проведения системного анализа широко используемых на практике показателей надежности и качества услуг обособленных сетей электrorаспределения и передачи данных рассмотрим принятые в соответствующих отраслях методы и подходы.

Электrorаспределительные сети

Само понятие «качество электроснабжения» появилось сравнительно недавно и подразумевает интегральную характеристику, включающую показатели надежности электроснабжения, качества электрической энергии и энергоэффективности. Однако в настоящее время методики анализа качества электроснабжения не стандартизованы и крупные потребители самостоятельно выбирают контролируемые параметры (и, соответственно, уровень качества электроснабжения), которые не должны противоречить требованиям нормативно-технических документов [4].

В то же время определение качества товаров и услуг осуществляется не только по совокупности параметров, установленных нормативными документами, но и субъективным восприятием потребителя. Восприятие фор-

мируется на основе собственных представлений о должном качестве сервиса, особенно в сравнении с бурно развивающимися цифровыми услугами в банковском секторе или сотовой связи. Потребитель электрической энергии вправе требовать возмещения ущерба, вызванных низким качеством товара или услуги в порядке предусмотренного статьей № 547 Гражданского кодекса РФ. Однако электрическая энергия является специфическим товаром, качество которого невозможно оценить, например, с помощью визуального осмотра. Качество электроэнергии определяется целым рядом показателей, проконтролировать и задокументировать отклонения которых возможно лишь в случае непрерывного мониторинга на основе сертифицированных государством геоинформационных систем и организацией доступа потребителей к формирующимся базам данных. В противном случае возможность контролировать качество электроснабжения остается прерогативой лишь крупных компаний, имеющих в своем составе специализированный персонал. Малые и средние компании, а тем более население не в состоянии защитить свои права на основе имеющегося законодательства и ущерб, возникающий в результате несоответствия ряда показателей качества электроэнергии («сгорел» компьютер), повсеместно списывается на дефекты приобретаемой бытовой техники или «волю случая». Ввиду отсутствия мониторинга событий отсутствует и объективная статистика возникающих потерь. Ущерб же предприятий и населения в масштабе страны исчисляется значительными суммами и связан с показателями надежности электроснабжения и качества электрической энергии. Ущерб может быть связан со следующими факторами:

1. Ущерб от перерывов электроснабжения (останов производства в промышленности, порча сырья и оборудования, снижение качества жизни населения);
2. Ущерб от ускоренного износа оборудования при использовании электроэнергии низкого качества;
3. Ущерб от сбоев цифрового оборудования и информационных систем при работе в одной сети с электроприемниками, не обеспечивающими необходимый уровень электромагнитной совместимости;
4. Ущерб от завышенных тарифов, покрывающих потери при передаче и распределении электроэнергии (мощность потерь зависит, в том числе, от режимов работы оборудования потребителей при отсутствии возможности централизованного управления ими).

Надежность поставки электроэнергии является ключевой задачей электросбытовой компании, поскольку перебои в электроснабжении регистрируются без использования специального оборудования, а по-

следствия велики — срывы производственного цикла предприятий или, например, протечки размороженных продуктов из холодильников в сотнях домохозяйств. К показателям надежности электроснабжения конкретного объекта относят следующие показатели:

$N_{\text{нзм}}$ — Число независимых источников электроэнергии;

$N_{\text{ПЛ}}$ — Число питающих линий;

$K_{\text{ог}}$ — Коэффициент оперативной готовности КОГ (вероятность поставки электроэнергии в полном объеме в год, варьируется в зависимости от категории объекта от 0,99671 до 0,99999);

$T_{\text{пр}}$ — Время простоя ВП (число часов без электроснабжения в год по причине проведения ремонтных работ, варьируется в зависимости от категории объекта от 28,8 ч./год, до 5,25 мин./год для потребителей особой группы).

Ряд показателей качества электрической энергии невозможно оценить без применения специализированного оборудования, хотя несоответствие показателей нормативным значениям может нанести не менее значимый ущерб владельцам техники и оборудования. Следует отметить высокие требования к качеству электрической энергии в России, которые не уступают аналогичным европейским (IEEE Standart 519, IEEE Standart 1159) и американским (ANSI C84-1). Однако, к традиционным причинам, описываемых стандартом и приводящим к отклонениям параметров качества электроэнергии, прибавились и дополнительные. Развитие технологий и массовое внедрение полупроводниковых преобразователей частоты (в частности, импульсных блоков питания различного электронного оборудования) произошедшее за последние 15–20 лет, привело к существенному зашумлению сетей высокочастотными гармониками. Контроль качества электроэнергии (ПКЭ) осуществляется по 11 показателям [2]. Отклонения нормируемых показателей ПКЭ не должно превышать 95% времени работы сети.

1. δU_y — Установившееся отклонение напряжения — разность действующего значения от номинального, сохраняющегося более 30 сек; (выражается в вольтах или% от номинала, не более 5% в сетях освещения и не более 10% в остальных);
2. δU_t — Размах изменения напряжения (разность амплитуд предыдущего и текущего периодов);
3. P_t — Доза фликера (расчитывается на основе величины размаха, частоты повторений размаха и формы изменения размаха, показатель до 1,38) — вредное воздействие на органы зрения;
4. K_U — Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения (отношение корня из суммы квадратов дейст. значений высших гармоник к дейст. значению первой гармоники), суще-

- ственно влияет на электромагнитную совместимость приборов в одной сети;
5. $KU(n)$ - Коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения;
 6. $K2U$ — Коэффициент несимметрии по обратной последовательности трехфазной сети (предельно допустимый уровень 4%);
 7. $K0U$ — Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
 8. Δf — Отклонения частоты тока 50 Гц (не более 0,2%);
 9. t_p — Длительность провала напряжения (внезапное понижение напряжения ниже 10% с восстановлением в течении от 10 мс до 30 с);
 10. Уимп — Импульсное напряжение — резкое изменение напряжения в течении нескольких миллисекунд;
 11. Кпер U — Коэффициент временного перенапряжения (отношение максимальной амплитуды к номинальной).

Мониторинг показателей качества электроэнергии с использованием сетей телематического съема данных, а также неотвратимое и немедленное наказание поставщика в случае существенных отклонений, является единственным и чрезвычайно необходимым инструментом защиты прав потребителей. Однако, отмечаемый в текущем году десятилетний юбилей с момента начала реализации новой стратегии развития электроэнергетики в России оставляет необходимость разработки новых решений с целью повышения надежности, качества и доступности одного из самых востребованных товаров — электрической энергии.

Сетевая инфраструктура в области систем связи и телекоммуникаций

На картах геоинформационных систем городов России появляются все новые слои, связанные с быстро развивающимися сетями провайдеров информационных услуг. Это сети доступа в Интернет, телефонной связи, кабельного телевидения, систем охранной и пожарной сигнализации, сети видеонаблюдения и безопасности на дорогах, многочисленные корпоративные телекоммуникации. Причем большинство провайдеров данных сетей находятся в состоянии жесткой конкуренции, а цена предоставляемых пользователям услуг, в отличие от тарифов в электроэнергетике, является рыночной и не требует регулирования со стороны государства. Становится нормой, когда жители многоквартирных домов имеют возможность выбора в подключении к одному из трех-четырех провайдеров, имеющих в доме собственное оборудование и распределительные сети. Количество проложенных коммуникаций в вертикальных слаботочных стояках дома так высоко,

что приходится пробивать дополнительные межэтажные отверстия. В условиях жесткой конкуренции и минимально возможной цены за услуги для пользователя провайдеры вынуждены не только работать над повышением качества предоставляемых услуг и контакт-центров, но и думать об оптимизации расходов, расширении спектра предлагаемых сервисов. Так большинство провайдеров телефонии и кабельного телевидения модернизировали оборудование для работы в цифровом формате и предлагают пользователям дополнительно доступ в Интернет, а традиционные интернет-провайдеры включают в комплексные тарифы сотни каналов телевидения и сервисы IP-телефонии. Стараются не отставать от коллег и операторы сотовой связи, доминирующие в сфере услуг передачи данных в сельской местности. Наблюдается устойчивая тенденция по сближению спектра услуг, предлагаемых различными операторами связи, унифицируются используемые технологии передачи данных и оборудование, постепенно стираются грани специализации компаний, что ведет к еще большему обострению конкуренции, заставляя часть менее эффективных компаний покинуть рынок телекоммуникаций.

Унификация оборудования в сетях связи идет на основе внедрения технологий передачи с пакетным режимом коммутации данных, позволяющей наиболее эффективно использовать имеющуюся пропускную способность линий связи, снизить удельную стоимость передачи единицы информации. Унифицируются и показатели качества связи, используемые в сетях с пакетной коммутацией. Массовое использование населением новых телекоммуникационных технологий приводит, в том числе, и к существенному повышению компьютерной грамотности. Значительная часть пользователей не только свободно владеют рядом популярных сетевых приложений, но и разбираются в тонкостях сетевого взаимодействия, могут использовать специализированное ПО для сравнительного анализа показателей качества работы сетей различных провайдеров связи. Возможность пользователя сети передачи данных документального подтверждения заявленных провайдером параметров качества услуги так же является существенным отличием от потребителя в сети электrorаспределения, не владеющего подобными инструментами и не способного защищать собственные права на приобретение качественного товара.

В телекоммуникационных сетях с пакетной коммутацией используются следующие основные параметры качества предоставляемого сервиса, в том числе, и для трансляции времязависимого трафика:

1. C_p — предложенная нагрузка (поток данных, поступающий от пользователя на вход сети), МБайт/с;

2. S_i — скорость передачи данных (фактическое количество данных, проходящих через сеть), Мбит/с;
3. C_i — пропускная способность линии связи (максимально возможная скорость передачи, ограниченная характеристиками самой линии связи и выбранным способом представления информации), Мбит/с;
4. d_i — задержка i -го пакета (время между появлением первого бита информации на выходе устройства одного пользователя до появления этого бита на входе устройства адресата), с.
5. D — среднее значение задержки передачи, с.;
6. C_m — мгновенная скорость передачи (фактическое количество данных, проходящее через сеть на коротком временном интервале), Мбит/миллисек.;
7. J — стандартное отклонение времени задержки от среднего значения;
8. k_v — коэффициент вариации задержки (отношение стандартного отклонения к среднему);
9. RTT — время реакции сети (время реакции сети (время оборота пакета) с.;

Показатели надежности сетей передачи данных с коммутацией пакетов являются интегральными характеристиками, определяющими доступность услуг в режиме 24/7 для конкретного пользователя:

1. $N_{узл}$ — общее количество активных узлов в сети передачи данных;
2. N_m — число независимых маршрутов доставки пакета;
3. L — доля потерянных и искаженных пакетов (отношение потерянных к общему количеству переданных пакетов);
4. A — доступность (доля времени сети в работоспособном состоянии), эталон качества в телефонной сети: $A=0,99999$ (менее 5 минут простоя в год).

Управление взаимозависимыми показателями качества в дуальной сетевой инфраструктуре

Возникает вполне закономерный вопрос, почему же сети электроснабжения и передачи данных со сформированным бизнесом по трансляции своего товара от точки подключения к магистральной сети до потребителя, имея схожую топологию коммуникаций, охват территории, количество пользователей, эти сегменты рынка находятся в столь неравнозначной экономической ситуации? В сетях связи наблюдается жесткая конкуренция поставщиков услуг, в результате консенсуса между продавцом и покупателем сложилась рыночная цена, при этом доходы провайдеров позволяют производить

периодическую и своевременную смену поколений сетевого оборудования с существенным повышением потребительских свойств и снижением удельной стоимости. В сетях электроснабжения, несмотря на проведенные реформы, присутствуют тарифы, предлагаемые единственным региональным сбытовым оператором и регламентируемые государством, а в ряде регионов эксплуатируется крайне изношенное и морально устаревшее оборудование, где потери могут достигать трети от поставляемых объемов электроэнергии, как например, в АО «ДСК» или АО «Тываэнерго» [1].

Возникает дополнительный вопрос, а нельзя ли оценить экономический эффект при внедрении технологий интеграции кабельных инфраструктур распределительных сетей электроснабжения и связи? Действительно, в случае эксплуатации интегрированной сети возможно ожидать синергетический эффект, в первую очередь связанный с автоматизацией управления параметрами в удаленных сетевых сегментах и минимизацией ущерба от низкой надежности и качества электроэнергии для предприятий и населения, а стабильность и качество электроэнергии существенно снижают вероятность искажения пакетов в информационных сетях. В то же время существует перспектива создать конкурентную основу работы провайдеров, направить высокодоходный частный бизнес операторов связи для финансирования морально устаревшего электросетевого хозяйства. За счет повышения надежности электропитания могут быть улучшены характеристики собственно сетей связи, снижены общие эксплуатационные расходы интегрированной сети, унифицировано применяемое оборудование, обеспечен необходимый уровень мониторинга прозрачности выполнения обязательств по поддержке надежности и качества предоставляемых услуг для потребителей.

Рассмотрим принципы взаимного управления значимыми параметрами в случае интеграции электрораспределительных и телекоммуникационных сетей.

Несмотря на то, что в настоящее время сети электроснабжения и связи существуют как два независимых комплекса линий передач, относящиеся к разным отраслям народного хозяйства, прослеживается жесткая взаимозависимость показателей качества и надежности работы одной инфраструктуры от показателей качества и надежности другой. Как было показано выше, обеспечение нормированных показателей электроснабжения не возможно без мониторинга и управления сетевым оборудованием посредством информационных коммуникаций. Очевидно, что и показатели надежности работы оконечного и промежуточного оборудования сети передачи данных напрямую зависят от значений коэффициента оперативной готовности и времени простоя в сети электроснабжения.

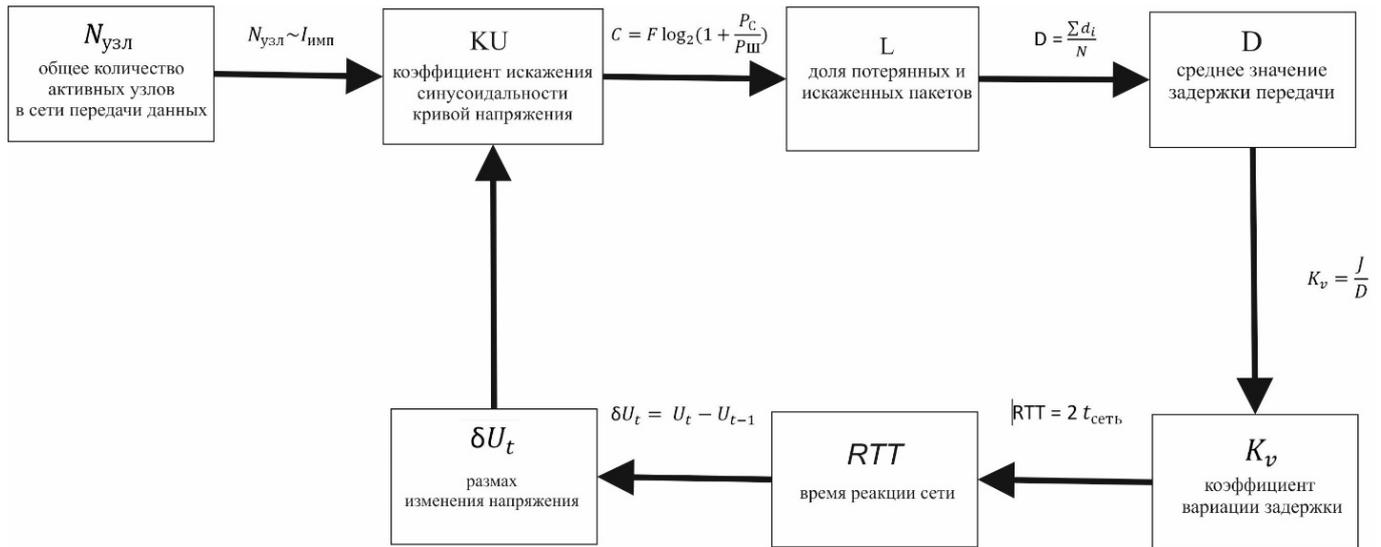


Рис. 2 Взаимозависимость параметров дуальных сетей электроснабжения и передачи данных

Можно привести множество примеров влияния конкретных параметров в одной сети на работоспособность другой. Например, повышенный коэффициент несинусоидальности в сети электроснабжения может приводить к сбоям в работе коммутационного оборудования в результате проникновения высокочастотной помехи через блоки питания во внутренние цепи коммутаторов. Кабельная система сетей передачи данных в производственных и жилых помещениях в большинстве случаев выполняется медным кабелем «витая пара» и восприимчива к высокочастотным помехам. Те же самые гармоники в сети электроснабжения генерируют помехи в эфир и могут существенно увеличить количество искаженных информационных пакетов, особенно в случае прокладки кабелей слаботочных сетей и электропитания в едином кабель-канале. К сбоям в работе приемо-передающего оборудования могут приводить и периодические изменения напряжения электропитания, провалы напряжения, отклонения частоты тока и др. В то же время, в случае использования сети передачи данных для управления параметрами качества электроэнергии, вариации задержки передачи управляющих пакетов, завышенное значение времени реакции сети так же могут существенно снизить эффективность управления электроснабжением (Рис. 2).

Особо следует отметить последствия для компаний в случае непредвиденного полного отключения напряжения в сети. При значительных токах потребления сотен работающих в организации компьютеров резкое отключение электроснабжения неизбежно приводит к переходным процессам в длинных кабельных линиях, с кратковременным повышением напряжения, величина которого может многократно превышать номиналь-

ное. Результатом резкого отключения электропитания, например, компьютерных классов учебного заведения обычно является вынужденная замена блоков питания некоторого количества компьютеров. Причем основой надежности как в сетях электроснабжения, так и в сетях электросвязи является избыточность используемого активного оборудования и коммуникаций, что в случае эксплуатации дуальной сети становится условием надежности каждой из сетевых составляющих (Рис. 3).

Интеграция кабельных систем электроснабжения и связи с внедрением цифровых технологий управления трансформаторными подстанциями, подключением оборудования к централизованной системе диспетчеризации, подразумевает передачу команд управления в режиме on-line. Другими словами, время реакции телекоммуникационной сети, включая задержку передачи пакета с измеряемой величиной, время обработки этих данных на центральном сервере системы с формированием управляющей команды и задержку передачи этой команды на управляемое оборудование должно быть соразмерно с быстро протекающими процессами в сети электроснабжения, например, изменением размаха напряжения (разницей амплитуд соседних периодов синусоиды напряжения с частотой 50 Гц). При этом телекоммуникационная сеть должна продолжать выполнять собственные задачи по передаче значительных объемов пользовательского трафика, связанного с обеспечением доступа в Интернет, трансляций видеопотоков телевидения, работу IP-телефонии и множества других современных сервисов. Причем время реакции сети для конкретного пользователя не должно снижаться в результате реализации дополнительных сетевых функций по диспетчеризации параметров качества электроснабжения.

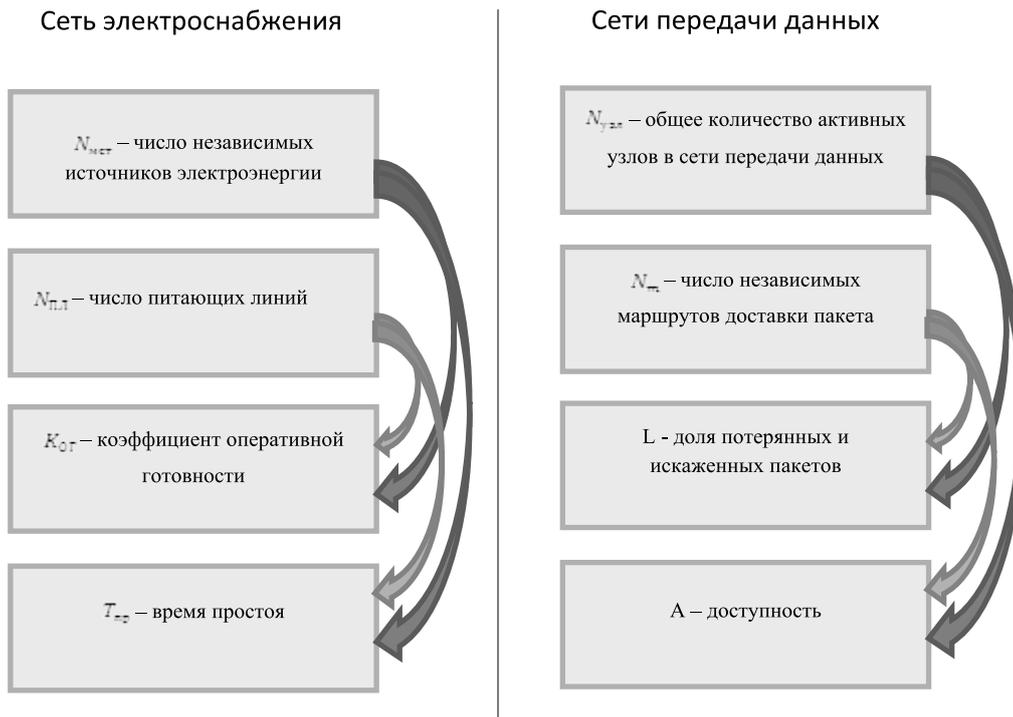


Рис. 3 Показатели надежности независимых сетей электроснабжения и связи

тельной сети. Управление параметрами взаимозависимых сетей должна обеспечивать безусловное улучшение параметров качества работы каждой сети в отдельности, а так же всей интегрированной системы в целом.

С целью отладки методов и алгоритмов управления взаимозависимыми параметрами интегрированных сетей электроснабжения и связи, в 2017 году на территории университета «Дубна» был реализован первый инновационный проект, предполагающий использование технологий совмещенной высокоскоростной передачи данных с электроснабжением потребителей посредством стандартного оптоволоконного кабеля.

В работах Н. Тесла (Tesla N. Apparatus for transmission of electrical energy. US Pat № 349621, 15.05.1900) был предложен метод передачи активной мощности с помощью реактивного емкостного тока с использованием резонансных свойств однопроводной линии, изготовленной из металлического проводника. Этот метод был незаслуженно забыт по причине сложной организации управления резонансными характеристиками линии на основе доступной на тот момент элементной базы. Значительный прогресс по снижению стоимости и одновременному росту производительности однокристалльных микропроцессорных систем позволяет строить резонансные системы электропередачи с учетом экономической эффективности.

Для передачи электроэнергии используется металлические компоненты кабеля, предназначенные для придания ему механической прочности. Электрическая мощность передается на повышенной частоте (до 50 КГц) с использованием специально разработанных генераторов. Каждый из электроприемников подключаются к линии посредством управляемого инвертора, являющегося источником электропитания потребителей с жестко нормированными параметрами качества. Для регистрации событий в сети информационные пакеты с телеметрической информацией передаются традиционным образом с использованием оптических волокон.

На крышах учебных корпусов смонтированы 6 солнечных электростанций с максимальной мощностью 2,2 кВт каждая. Станции территориально разнесены и соединяются оптоволоконным кабелем длиной 2,6 км. Вдоль кабеля располагаются 66 уличных светильников, снабженных розетками подключения дополнительного оборудования. Все точки электропитания снабжены контроллерами, предназначенными для централизованного мониторинга и корректировки параметров качества электроэнергии на выходе инверторов, а также для дистанционного управления светильниками. К этим же инверторам подключены точки доступа Wi-Fi (полное покрытие территории кампуса), камеры видеонаблюдения, а так же розетки подключения различного оборудования, удобные, например, для стрижки газонов.

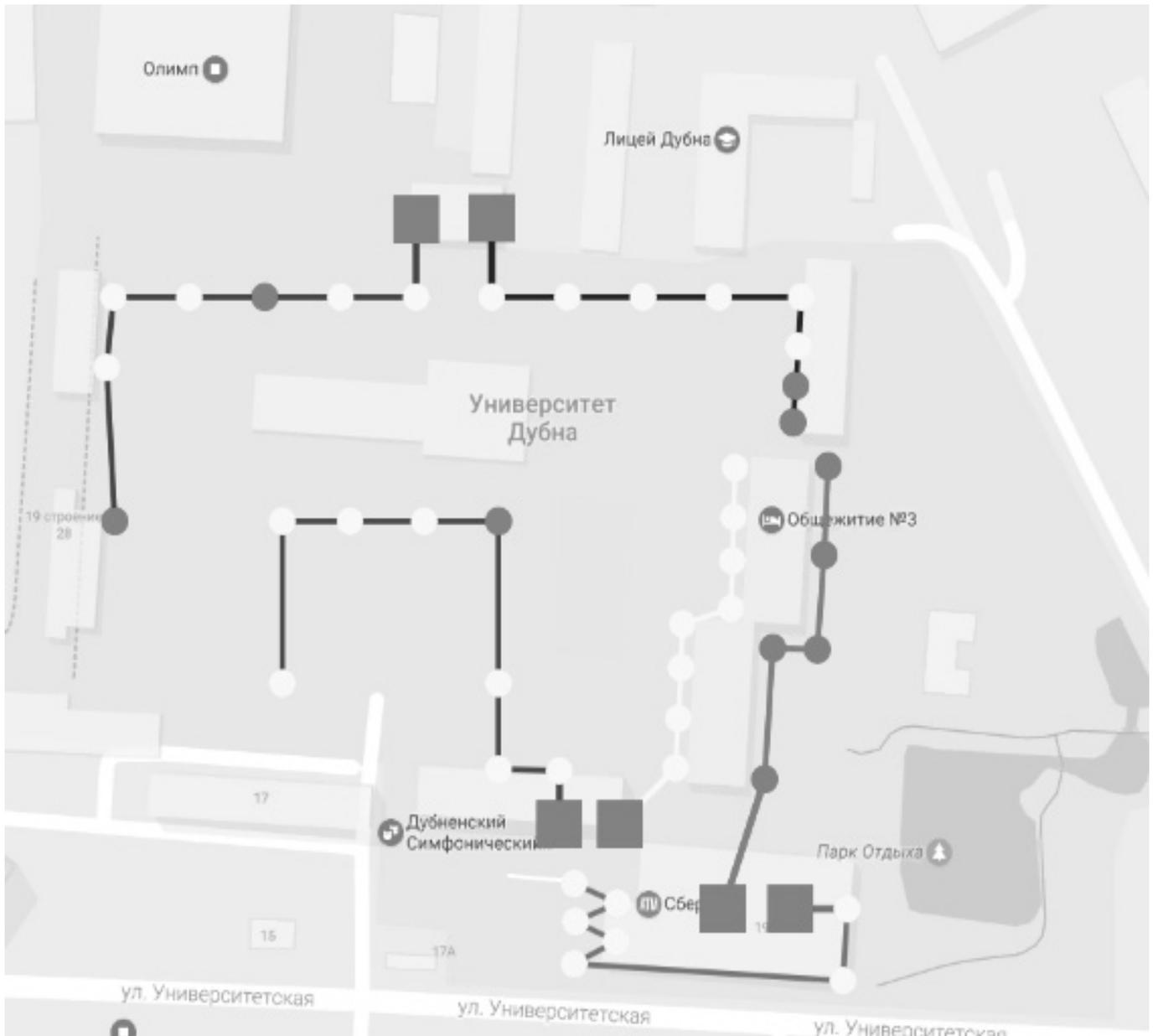


Рис. 4 Трассы прокладки оптоволоконного кабеля уличного освещения кампуса университета «Дубна» с интеллектуальным управлением

Оптоволоконный кабель с воздушной подвеской на опорах освещения одновременно является телекоммуникационной магистралью, связывающей учебные корпуса, спортивные сооружения, общежития, хозяйственные постройки университета с общим количеством компьютеризированных рабочих мест более 1000 единиц (рис. 4).

Поскольку изменение характера электропотребления на выходе одного или нескольких из инверторов (например, подключение электрокосилки) может приводить к неравномерному изменению амплитуды

напряжения на протяжении линии, мониторинг и корректировка показателей осуществляется встроенными контроллерами на основе алгоритмов сервера централизованного мониторинга.

Результаты эксплуатации опытного полигона дуальной распределительной сети электроснабжения и передачи данных демонстрируют возможность поддержки отклонения параметров качества электроэнергии в диапазоне не более 1% от номинальных значений вне зависимости от мощности подключаемого оборудования и времени года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство энергетики РФ. Показатели энергетической эффективности объектов электроэнергетики 2016–2017 гг., <https://minenergo.gov.ru/node/11203>
2. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. _ М.: Изд-во стандартов, 1997. — 59 с.
3. ГОСТ Р 54149–2010 Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. _ М.: Стандартинформ, 2012. — 20 с.
4. Лагутин Б.В., Муравлев И. О., Муравлев А. И. Качество электроснабжения промышленных предприятий: Лабораторный практикум. — Томск: ТПУ, 2014. — 90с.
5. Куско А. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества электроэнергии // Куско А., Томпсон М., пер. с англ. Рободзея Ф. Н. — МЖ Додека-XXI, 2010. — 336 с.: ил.
6. Олифер В., Олифер Н., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов 5-е изд. — СПб.: Питер, 2016. — 992 с.: ил.
7. Шишков Е.М., Солдусова Е. О., Проничев А. В. Разработка алгоритма управления электрическими режимами изолированной электроэнергетической системы с использованием распределенного реестра//Фундаментальные исследования. — 2017. — № 11–1. — С. 158–163.
8. Куприяновский В.П., Фокин Ф. Ю., Буланча С. А., Куприяновская Ю. В., Намиот Д. Е. Микросети — энергетика, экономика, экология и ИТС в умных городах// International Journal of Open Information Technologies. — 2016. — Т. 4. № 4. — С. 10–19.
9. Крюков Ю. А. Модель информационного взаимодействия объектов резонансной сети передачи электроэнергии и данных// ВЕСТНИК РАЕН. — 2013. — Т. 13. — № . 1. — С. 44–51
10. Крюков Ю. А. Резонансная сеть передачи электроэнергии с интегрированным интеллектуальным управлением// Составляющие научно-технического прогресса. — 2012. — № . 4. — С. 69–70
11. Tesla N. Lectures. Patents. Articles. Published by N. Tesla Museum. Beograd, 1956. —715 pp.
12. Nikola Tesla. Colorado Springs Notes 1899–1900, Published by Nolit. Beograd, 1978. —437 pp.
13. US Pat № 593138/ Electrical transformer / Tesla N. 02.11.1897.

© Крюков Юрий Алексеевич (kua@uni-dubna.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Государственный университет «Дубна»